

渤海老二号平台被冰推倒的调查结果

中国科学院力学研究所 (北京市100080) 段梦兰

石油大学 (北京) 方华灿 陈如恒

摘要 对渤海老二号平台1968年被大冰推倒这一重大事故进行了全面的调查和分析, 描述了平台破坏的全过程。指出平台倒塌是由3个方面的综合因素导致的, 而破坏的本质原因是冰激振动产生的疲劳损伤发展到一定程度后, 疲劳裂纹的低温脆性扩展而使桩腿失去了承载能力。为此, 总结出海冰环境中设计平台的7点经验, 供从事我国辽东湾平台的设计、制造、安装和施工的同行们参考。

关键词: 钻井平台失效 振动 疲劳裂纹 低温裂纹 海洋平台

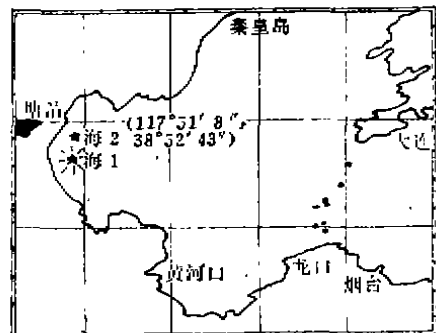
一、渤海老二号平台简介

老二号平台是我国自行设计、制造和安装的我国第二座海洋石油平台, 是一座钢质桩基固定平台。原计划用于勘探和生产, 建造于1967年, 1968年到位安装, 尚未投入使用即被大冰推倒。由于历史上的原因, 这一重大事故至今没有得到系统的深入的调查, 本文将填补历史上的这一空白。

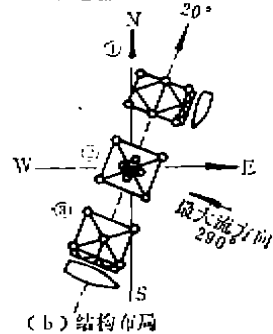
平台的地理位置和结构布局如图1所示, 它由3座平台组成, 即生活平台、设备平台和生产平台 (对应于图1中的平台①、②、③)。3座平台的主腿直径和斜度分别为: 生活平台 $\phi 650$ mm, 斜度 1:6.5、设备平台 $\phi 686$ mm, 斜度 1:7 和生产平台 $\phi 836$ mm, 斜度 1:8。

二、老二号平台冰毁过程简述

由于1968年11月中旬较强寒流的入侵, 11月14日之后的两、三天内, 整个辽东湾即普遍出现初冰, 比常年提前10 d左右; 又由于1969年春季的持续低温, 渤海大部分海区的终冰日比常年晚20余天; 在头年11月底 (或12月初) 下了一场大雪 (连续时间之长, 雪量之大是历史上罕见的), 雪是淡水, 吸收大量热量, 造成以后长时间的低温气候; 当时又连续刮东北风 (很大), 冰向岸边积累, 风生浪, 浪花吸收热量, 小冰点堆积向岸边移动; 立春后又来一次寒潮, 当年陆地的两次最低温



(a) 地理位置



(b) 结构布局

图1 老二号平台的地理位置与结构布局

和海水的最低温在时间上很吻合。所有这些因素形成了1968~1969年间渤海历史上的大冰封年份。进入1969年1月份, 渤海的冰情逐渐加重, 冰对平台的作用日趋显著, 海冰开始在平台导管架下和平台周围堆积, 部分构件因强度不够而被冰挤破、开裂。

至当年春节前夕,作用在平台最厚的单层平整冰已达70 cm,平台潮差段的大部分支承杆件已被先后破坏,平台的振动在单层平整冰作用下相当严重,工作人员已经相当恐慌。这些情况都随时向塘沽指挥部作了汇报。

时至春节,安排3~4人在平台上看护。春节后第一天,生活平台背向来冰的一根桩腿被冰推断(如图2所示),平台看护人立即向基地呼救。当抢救队赶到时,生活平台的第二根桩腿也已经断了。从顶报第一根桩腿破坏到生活平台翻沉前后仅仅十几个小时。

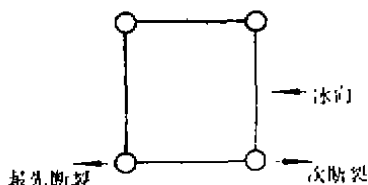


图2 生活平台桩腿冰毁次序

生活平台断裂后,周总理一直关注着二号平台的安全,曾多次亲自过问。工程技术人员对剩下的两座平台(设备平台和生产平台)进行了强度上的加固,将已经断裂的支撑杆件重新焊接,并新增了部分杆件。然而,至1989年3月8日,刮了一天多的东北风(9级大风),将渤海湾的冰增加到最严重的程度。那一天海流也很急,冰速(和潮流速度相当)很大,两座平台终于没能经受住强烈海冰长时间的作用,设备平台和生产平台先后被冰推倒。

三、事故原因的调查与分析

为了找出这次事故的真正原因,笔者在没有任何实际资料的情况下走访了与老二号平台有关的同志,其中包括平台的设计者、平台的施工人员、平台的现场作业人员、平台的安全抢险队员、事故后调来渤海的关心和研究过这次事故的工程技术人员。经过尽可能详细的调查和分析所能找到的资料,笔者认为如下几个方面的综合原因导致了这次重大事故。

1. 设计方面

(1) 设计工作粗糙,没有严格的平台设计规范。限于当时我国的科学技术水平和综合国力,平

台的设计仅仅运用材料力学进行了静强度的手工计算。设计工作粗糙,这方面包括环境条件没有彻底调查清楚,应力计算不精确,没有进行动强度设计、疲劳强度设计和安全可靠性评价等。

(2) 载荷设计不合理。未将冰载作为平台设计的主要承受载荷,只考虑了风、浪、流对平台的作用,而这些载荷实际上比冰载要小得多。

(3) 平台结构设计不合理。整个平台被分为在强度上完全相互独立的3个部分,互相之间没有约束和支承,并且,每座平台都设计成头重脚轻的结构,即质量都集中在顶层甲板,而桩腿又很细长(生活平台的桩径才650 mm,壁厚也仅12 mm,其中还有材料质量的因素)。这种结构的整体稳定性本来就有问题,在冰将用于加强的潮差段管节点(或其它支承杆件)挤破后,平台的刚度进一步被削弱,在大面积单层平整冰的作用下,平台就更加急剧地振动起来,其振动幅度比原来更大了。在这种情况下,最容易加剧平台主腿的疲劳累积。所以,尽管桩腿的安全系数取了2~2.5(静强度是足够的),但由于头重脚轻的结构,平台的倒塌就包含了失稳破坏的成分。

(4) 平台整体布局不合理。3座分体式平台成一字形摆开,并且以面积最大的一面迎向来冰(如图1b)。这种布局在结构另一面(不受冰作用)刚性不够的情况下最经受不住冰的连续冲击(如果不受冰的一面是完全刚性的,那么这样布局就最合理)。况且结构头重脚轻,这样布局使平台振动更为严重(振幅最大)。

接受这次教训,1969年以后建造了1座二号自由式平台,它的结构和布局如图3所示,显然它增大了结构的刚度与整体稳定性。

(5) 材料选择不当。由于没有认识到海冰作用的严重程度,加上主观和经验的因素太多,也受当时客观条件的限制,老二号平台所用的材料为16Mn和Q235-A钢,而且很有一部分是废弃的钢材。按现在的标准,这两种钢材是不能用于制造平台导管架等关键部件的。我国今天生产的平台,导管架所用的材料都是进口的A537钢或A131钢。这两种钢材具有高强度和高韧性,是国产材料所达不到的。至于不合格的废料更是绝对不允许。

2. 焊接工艺质量要求不严

由于结构庞大,带来焊接上的困难和巨大的焊

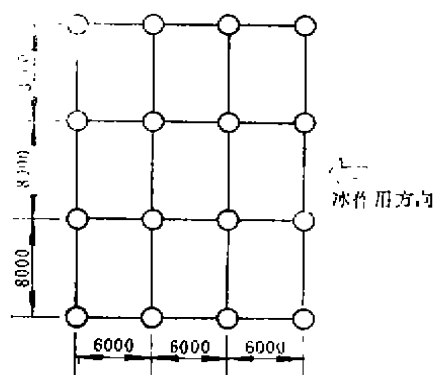


图3 二号自由平台布局结构

接工作量，又由于对平台的焊接没有严格的要求和标准，当时的焊接工艺也跟不上，焊工的水平欠高。这些因素都影响了焊接质量，使得有些断面没焊透，焊接缺陷和残渣以及不熔合等更是普遍皆是。这些都成了结构疲劳破坏的发源地。为什么今天对管接点的焊接质量要求那么高，并且对现在的平台要进行定期的无损探伤和裂纹监测。就是因为焊接缺陷本身就是一个裂纹源，它取代了占平台全寿命很大成分的裂纹萌生寿命，而且大的焊接缺陷经受疲劳载荷作用时，在一定条件下会扩展很快，成为低温脆断的主要根源。

3. 平台定位安装时施工质量不高

60年代，我国的海上作业水平是很低的，象老二号平台这样的大型海洋结构物的到位、安装和施工，既没有今天的运输工具，也没有先进的施工手段，工作的完成在一定程度上是靠工人阶级革命加拚命的大无畏精神。根据当时的条件和形势，重要的是把平台在指定地点支撑起来，而质量则不是考虑的主要问题。这样，整个过程的施工是粗糙的，在许多技术关键上没能很好地把握。施工质量也是保证平台安全作业的一个很重要的因素。

四、调查结论

一般说来，对结构破坏原因的调查，弄清其确实的断裂过程，应该对破坏的断口进行宏观和微观的断裂机理研究，确定它到底属于哪种断裂形式，断裂的控制因素是什么。笔者在调查过程中曾试图亲眼看到老二号平台的破坏断口，但没能如愿。欣慰的是有几位同志曾留心了桩腿的破坏断口，并

一致肯定断口是平整的，其中，专门从事管节点疲劳强度研究的冷恩惠高级工程师确认，老二号平台的最终破坏属于脆性断裂。这使他在以后的若干年里进行了长时间的管节点脆断研究，其中做了许多室内实验工作。关于海洋结构物在海冰作用下的低温脆断还有两个事实依据，其一是1974年一个烽火台被冰推倒，断口整齐；其二是1977年一火炬平台焊口脆断，当时冰对它的作用仅仅20 d。

综合上述分析，对老二号平台的破坏过程作如下描述：

由于平台布局的不合理，海冰对平台的作用力相当大，平台抵抗冰的作用不强，又由于平台结构头重脚轻，海冰（特别是单层平整厚冰）激起平台强烈的振动，平台的动应力相当大，再由于焊接和施工的质量不高，平台焊接部位严重应力集中，在冰载激起的很大动应力作用下，平台薄弱的一些构件，如管节点的支管开始在焊缝处开裂，其中有些杆件因静强度不够在冰的直接挤压下破坏，而主管中的焊接大缺陷这时也开始扩展，但限于当时认识水平，人们没能注意到这个潜在的最大危险。在采取补救措施时仅仅修补了已经断裂的杆件，并没有意识到肉眼难以观察到的实际上正在缓慢扩展的主腿内部的这些初始缺陷。生活平台桩腿比较细，壁厚最小，随着海流的涨退，海冰每天对它4次相反方向的循环作用。因为它的应力集中最严重，产生的动应力最大，初始焊接缺陷的扩展因而较其它两个平台的桩腿更快。当裂纹扩展到一定程度，由于Q235-A钢或16Mn钢的低温韧性比较差，于是裂纹由疲劳扩展转入脆性扩展，最后由于剩余尺寸经受不住冰的进一步作用，桩腿出现失稳的快速脆断，导致生活平台在并非最大冰作用下即被冰推倒。很显然，平台第一根桩腿断裂后仍然坚持了十几个小时，靠3/4的力量维持了十几个小时的安全就足以说明平台桩腿的一般强度是足够的，按材料力学取的安全系数是可靠的。所以，可以得出结论，生活平台的破坏是由于初始焊接缺陷的疲劳扩展和裂纹扩展后期的脆性断裂所致。

生活平台翻沉后，如果及时总结、正确分析，找出事故的真正原因，对其它两座平台的主腿进行裂纹探伤，检测出主裂纹并进行熔修，3月8日事故或许是可以避免的，至少可以抑制。然而，当时的措施全部针对潮差段的管节点及加强筋，即重

新焊接已破坏的节点和杆件,并对重点部位增加了一些支承杆系。这样,真正的控制因素没有找到,桩腿中已经扩展了相当长度的焊接缺陷因为潮差段受冰面积的增加(焊好和增焊的杆件)扩展更快(受冰面积加大,总冰力增加,桩腿动应力更大)。尽管设备平台和生产平台的桩腿直径和壁厚相对要大,但裂纹扩展持续到3月8日,在经过极大海冰(那一天的风、流和海冰的速度达极值,坚硬的平整冰最大厚度达70 cm)持续一天多的作用后,平台桩腿的剩余尺寸再也支撑不住仍经受强冰作用的整个平台。可以看出,平台推倒前已经承受了3月7~8日极大海冰一天多的反复作用,并非大冰一来平台就倒了。这一事实可以肯定平台桩腿完全能够接受70 cm厚单层平整冰作用在平台的总冰力(从静强度来看,不考虑疲劳的因素)。所以,得出的结论是,设备平台和生产平台的破坏是桩腿初始焊接缺陷的疲劳扩展和最后剩余尺寸不能承受大冰的作用而断裂。前者属于疲劳,后者是一般的强度不够,二者之间存在一定程度的脆性裂纹扩展。这样,两座平台被大冰同时推倒可用桩腿的最后剩余强度不够来解释,而其破坏的本质原因是焊接缺陷的累积疲劳损伤和后期裂纹一定程度的脆性断裂,这就是为什么平台破坏前能够经受几个月海冰的作用,特别是极大冰峰最后一天多的作用。

五、事故对平台设计的思考

从上述对老二号平台事故的调查分析,至少可以对辽东湾平台的合理设计提出如下几方面的要求:

(1)充分认识冰对平台的作用,将冰作为设计的主要控制载荷。这里的工作包括3个方面的内容,即辽东湾海冰的调查、平台的冰激响应分析和平台的冰振疲劳研究。

(2)提高平台的整体稳定性,减小平台的冰激响应。

(3)合理布局平台,使平台接受的冰力和振动幅度最小。

(4)潮差段不设加强构件(非潮差段必须加强),以减小冰的阻力和冰对平台的作用。

(5)加厚嵌固点。

(6)加强管节点,增大其壁厚,使刚度提高。

(7)提高节点的焊接质量和平台的施工质量,保证平台整体安全。

后记

由于历史上的原因,渤海老二号平台事故不仅没有组织过官方调查,而且有关它的任何资料都没有保留下来(仅有几张平台在冰中的照片),这给本次调查造成了极大的困难。所以本文中的资料均为被采访人员的回忆,不确切之处在所难免。笔者采访了目前在塘沽的参与老二号平台设计、施工、作业和救援等方面的工程技术人员20多人,如:曲仁煊、陆守德、王钦健、梁巨森、柳明庆、井开城、张继清、杨国金、郑国安、冷恩惠、张国衡、王艺贤等高级工程师。借此机会,谨向他们表示衷心的感谢;同时对中国海洋石油开发工程设计(塘沽)公司、渤海石油公司等单位对本次调查的重视和支持表示感谢。本文承石油大学蔡强康教授、石油勘探开发科学研究院白家祉教授和中科院力学研究所柳春图研究员评阅,特此致谢。

参考文献

段梦兰.渤海固定石油平台冰激振动下低温疲劳强度问题的研究.石油大学博士论文,1993.

(收稿日期:1993-11-28)

下期文章要目预告

程子棠 API Spec Q1规范与GB/T19000—ISO9000系列标准的比较
杨敬源等 前开口井架大腿截面对承载能力的影响
钟小敏等 井口装置承压本体有限元计算与讨论

何跃生等 新型气体除砂器的设计与实验
罗 伟等 牙轮钻头浮动套轴承的数值计算探讨
邬亦炯 钻井泵空气包作用机理的几个问题
王治国等 沙漠丛式钻机滚动移位装置的研制